



ラズパイで体験!

CMOS イメージセンサ性能の測定評価

第2回

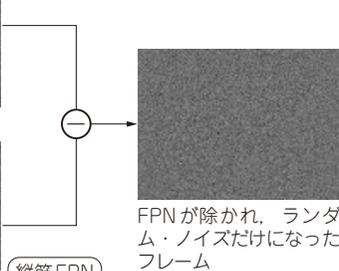
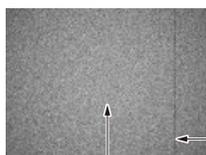
ダーク・ランダム・ノイズその2…ノイズの算出方法

米本 和也

フレーム1



フレーム2



FPNが除かれ、ランダム・ノイズだけになったフレーム

中心が明るいシェーディング状の FPN

図1 2枚のフレームの差分処理(フレーム間差分)により FPN を除く

本連載の第1回(本誌2024年2月号)では、ダーク・ランダム・ノイズの測定評価の原理を解説しました。今回は画像をキャプチャしてダーク・ランダム・ノイズを算出するのに必要な理論とテクニック、およびどうしても必要な設定と便利な設定を解説します。

イメージセンサから出力される画像に含まれるノイズの算出方法

キャプチャした画像のデータからダーク・ランダム・ノイズを算出する方法について述べます。

● ノイズの種類

CMOSイメージセンサから出力される1枚の画像(フレーム)には、さまざまなノイズが含まれます。大きく分けて、次の2つがあります。

- ランダム・ノイズ
- 固定パターン・ノイズ
(FPN: Fixed Pattern Noise)

その中でも、目立って画像に影響を与えているのが、本連載の第1回で述べた次の4つです。

- PRNU (Photo Response Non-Uniformity)
- 光ショット・ノイズ
- 暗電流 FPN
- ダーク・ランダム・ノイズ

● ダーク・ランダム・ノイズのみを分離する

これらのノイズから、いかにしてダーク・ランダム・ノイズだけを分離するかが肝心です。

PRNUと光ショット・ノイズは光を入れない状態にすればなくなるので、評価用カメラを暗箱に入れるとか、カメラ・レンズにキャップをするなどで対応します。

暗電流 FPN は、蓄積時間を CMOS イメージセンサの設定できる最短にすれば無視できる程度まで小さくできます。ただし、暗電流 FPN の性能にもよりますが、CMOS イメージセンサのチップ温度は高くならないようにするほうが良いでしょう。また、蓄積時間を最短にすることは、暗箱に設置していても漏れ込む光に対して、CMOS イメージセンサの出力に含まれる余計な信号成分も十分抑えられる効果ももたらします。

▶ FPN の除去

FPN に関しては、暗電流 FPN 以外に、画素単位のオフセット性ばらつきや撮像面にわたって緩やかに変化するシェーディングが存在します。従って、このまま1枚のフレームからノイズを算出するとそのような FPN が混ざってしまい正しい結果を得られません。

そこで、このような FPN を取り除くには図1に示すように2枚のフレームをキャプチャし、両者の差分をとるという手段を取ります。FPN は、フレームに関係なく一定の値を持つので、2枚のフレームに同じだけ含まれる FPN は差分処理(フレーム間差分)で十分取り除かれます。一方、ランダム・ノイズはフレーム間で信号量にゆらぎがあるので、フレーム間差分をとっても残り、FPN 成分が除去できます。

▶ あとで $1/\sqrt{2}$ 倍する

ただし、フレーム間差分によりダーク・ランダム・ノイズが増加することに注意しなければなりません。ダーク・ランダム・ノイズは、その信号のゆらぎがほぼ正規分布になっていることから、確率統計論における分散の加法性が成り立つので、2枚の画像を加算しても減算してもダーク・ランダム・ノイズの分散は2倍になります。すると、フレーム間差分による画像からゆらぎの標準偏差として算出されるランダム・ノイズを後で $1/\sqrt{2}$ 倍すれば元のダーク・ランダム・ノイズを得ることができます。

本記事を試す際には次の OS を推奨します。

Raspberry Pi OS (レガシー)、2023年12月5日、32ビット、カーネルバージョン: 6.1、Debian バージョン: 11 (ブルズアイ)